

# EUROPEAN PATENT OFFICE

## Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 10190147  
PUBLICATION DATE : 21-07-98

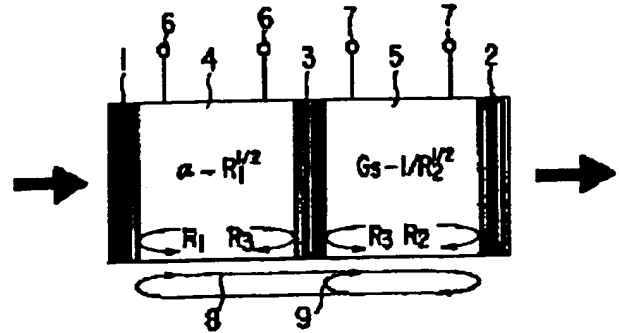
APPLICATION DATE : 26-12-96  
APPLICATION NUMBER : 08348066

APPLICANT : TOSHIBA CORP;

INVENTOR : OHASHI MAKOTO;

INT.CL. : H01S 3/18 H01L 27/14 H01L 31/10

TITLE : SURFACE TYPE MULTIFUNCTIONAL  
OPTICAL ELEMENT



**ABSTRACT :** **PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a surface type multifunctional optical element which can obtain a sufficiently large transmission gain, can operate stably even when the element is connected in multiple stages without using any optical isolator with a suppressed forward gain, little deforms the profile of an optical signal beam, and has a large operating margin.

**SOLUTION:** In a surface type multifunctional optical element, a first reflector 1 having a reflectance  $R_1$ , a light receiving section 4 having a single-path transmissivity  $\alpha$ , a third reflector 3 having a reflectance  $R_3$ , a light amplifying section 5 having a single-path gain  $G_s$ , and a second reflector 2 having a reflectance  $R_2$  are formed in this order from the incident side. In addition, an electrode terminal 6 which controls the single-path transmissivity  $\alpha$  of the light receiving section 4 and, at the same time, fetches received electric signals and another electrode terminal 7 which gives a gain to the light amplifying section 5 are also provided in the optical element. The first and second reflectors 1 and 2 and second and third reflectors 2 and 3 respectively constitute first and second optical resonator 8 and 9 for signal light. The operating condition of the optical element is set so that  $R_1 \cdot \alpha^2$  and  $R_2 \cdot 1/G^2$  can be met.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-190147

(43) 公開日 平成10年(1998) 7月21日

(51) IntCl<sup>8</sup>

識別記号

F I

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

H 0 1 L 27/14

H 0 1 L 27/14

31/10

31/10

Z

A

審査請求 有 請求項の数 7 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願平8-348068

(22) 出願日 平成8年(1996)12月26日

(71) 出願人 593162453

技術研究組合新情報処理開発機構

東京都千代田区東神田2-5-12 龍角散  
ビル8階

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 鈴木 信夫

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 大橋 真

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝研究開発センター内

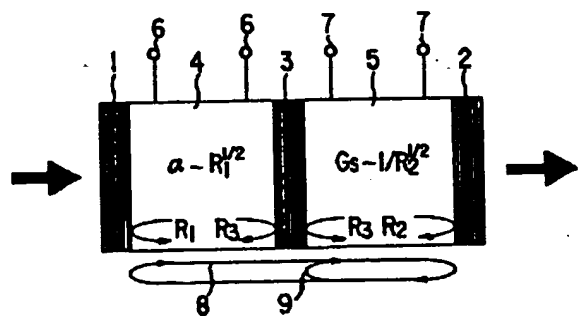
(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

(54) 【発明の名称】 面型光多機能素子

(57) 【要約】

【課題】 十分な透過利得が得られる一方で、順方向利得が抑圧されて光アイソレータなしの多段接続時にも安定に動作し、しかも光信号ビーム・プロファイルの変形が小さく、動作マージンも大きくできる。

【解決手段】 入射側から順に、反射率 $R_1$ の第一の反射器1、単一パス透過率 $\alpha$ の受光部4、反射率 $R_3$ の第三の反射器3、単一パス利得 $G_s$ の光増幅部5、反射率 $R_2$ の第二の反射器2が形成されており、さらに受光部4の単一パス透過率 $\alpha$ を制御すると共に受信電気信号を取り出す電極端子6と、光増幅部5に利得を与える電極端子7を備え、信号光に対して第一及び第二の反射器1、3が第一の光共振器8を構成し、第二及び第三の反射器2、3が第二の光共振器9を構成している面型光多機能素子であり、 $R_1 \sim \alpha^2$ 、 $R_2 \sim 1/G_s^2$ を満たすように動作条件を設定する。



は、入射面と出射面の反射率をそれぞれ $R_1$ 、 $R_2$ 、単一パス利得を $G_s$ とすると、

$$R_1 = G_s^2 R_2 \quad \dots (1)$$

の関係を満たせば、共振波長において反射利得を抑圧できることが知られている。(なお、本明細書全体に渡り、パワー反射係数を単に反射率と呼び、大文字で $R_i$ のように記すものとする。これに対し、振幅反射率は小文字で $r_i$ のように記すものとする。)同様に、受光素子も共振型とした場合、その入射側と反射側の端面反射率をそれぞれ $R_3$ 、 $R_4$ 、単一パス透過率を $\alpha$ とすると、

$$R_3 = \alpha^2 R_4 \quad \dots (2)$$

の関係を満足させることで、反射戻り光を抑圧することができる。従って、反射のない面型光多機能素子を実現するためには、光増幅素子と受光素子の共振波長、前記 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 、 $R_4$ の四つの端面の反射率、及び $G_s$ や $\alpha$ を精密に制御しなければならない。しかし、これらの制御を行ったとしても、光増幅素子と受光素子の間に存在する段差や電極などに起因する反射まで十分に抑圧することは、極めて困難である。

【0007】第二の問題は、ガウシアン・プロファイルを保つ多段光伝送ができないことである。即ち、この面型光多機能素子では、入射ビームの周辺部が受光素子、段差部、或いは電極等によりけられるため、光増幅素子を出力されるビームプロファイルが入射ビームプロファイルとは異なるものになってしまう。この場合、各ボードで受光素子と光増幅素子の分岐比が一定にならないため、パワーや光学アライメントのマージンが十分にとれない。また、入射と出射でスポット・サイズやパワー分布が大きく変化するので、光学系の設計も複雑で面倒なものになる。

【0008】第三の問題は、素子全体が厚くなるという問題である。非共振型の受光素子を集積化した場合、十分な量子効率を得るために、1~3 $\mu$ mの厚い活性層が必要である。一方、共振型の受光素子の場合、吸収層は薄くできるが、上下に多層の分布ブラッグ反射膜(DBR)や誘電体多層膜ミラーを設ける必要がある。また、受光素子と面型多機能素子の層構造が異なるため、全体の成長層厚は両者の厚さの和になる。厚い層構造で複雑なメサ構造を作製しなければならないので、プロセスが複雑になり、生産性が悪い。

【0009】第四に、素子構造が複雑で面積が大きくなってしまい、作製工程も複雑という問題がある。上述の面型光多機能素子では、光増幅素子の周囲に受光素子が配置されるので、素子面積が大きくなってしまい、他の素子との集積化や高密度アレイ化の観点で不利である。また、受光素子と光増幅素子の境界部に段差などの無効領域ができ、不要な損失や反射の原因となる。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】このように従来、面型

光多機能素子を用いて並列光インターコネクションを構成しようとする、

(1) 残留反射の抑圧が困難であり、反射利得を抑圧しつつ十分な透過利得を得ることはできず、多段接続時に安定に動作させることは困難である。

【0011】(2) ガウシアン・プロファイルを保つ多段光伝送ができず、パワーや光学アライメントのマージンが十分にとれない。

(3) 光効率の受光を行うためには、素子全体が厚くなる。

【0012】(4) 素子構造が複雑で、面積が大きくなる。問題があった。本発明は、上記の課題を鑑みて考案されたもので、その目的とするところは、反射利得を抑圧しつつ十分な透過利得を得て多段接続時にも安定に動作させることができ、多段中継時にもガウシアン・プロファイルを保って動作マージンを大きくでき、薄い吸収層でも高効率の受光を可能にして全体の層厚を薄くでき、かつ単純な構成で面積を小さくできる面型光多機能素子を提供することにある。

【0013】

【課題を解決するための手段】

(構成) 上記課題を解決するために本発明は、次のような構成を採用している。即ち本発明は、信号光に対する反射率(パワー反射係数)が $R_1$  ( $0 < R_1 < 1$ )の第一の反射器と、前記信号光に対する反射率が $R_2$  ( $0 < R_2 < 1$ )の第二の反射器と、前記第一及び第二の反射器の間に形成された反射率 $R_3$  ( $0 < R_3 < 1$ )の第三の反射器と、前記第一及び第三の反射器の間に形成された受光部と、前記第二及び第三の反射器の間に形成された光増幅部と、前記受光部の吸収係数を電気的に調整すると共に受光した信号を電気的に出力するための手段と、前記光増幅部に電流を注入して所定の利得を得るための手段と、前記第一の反射器を通して信号光を入射する手段と、前記第二の反射器を通して信号光を出射する手段とを主要構成要素としてなる面型光多機能素子であって、前記第一及び第二の反射器は信号光波長に対して第一の光共振器を構成し、前記第二及び第三の反射器は信号光波長に対して第二の光共振器を構成していることを特徴とする。

【0014】ここで、本発明の望ましい実施態様としては次のものがあげられる。

(1) 受光部の信号光に対する単一パス透過率を $\alpha$  ( $< 1$ )、光増幅部の信号光に対する単一パス利得を $G_s$  ( $> 1$ )とすると、 $\alpha^2$ が $R_1$ にほぼ等しく、かつ $G_s^2$ が $1/R_2$ にほぼ等しくなるように設定されていること。

(2) (1)において、信号光に対する結合損失も考慮した正味の透過利得が0.9以上で1.1以下であり、第一の反射器の側から入射される信号光に対する光学系の結合損失も考慮した正味の反射利得が $10^{-3}$ 以下であり、

様である。

【0023】従って、第一の反射器1と第二の反射器2で共振器8が形成され（光電界は一周回で位相が一致する）、かつ第二の反射器2と第三の反射器3で共振器9が形成される（即ち第一の反射器1と第三の反射器3の反射位相が同じ）ときには、第一の反射器1と第三の反射器3を往復する光は一周回毎に位相が反転することになり、干渉により相殺されてしまう。

【0024】本発明では、受光部4の信号光に対する単一パス透過率 $\alpha$ と第一の反射器1の反射率 $R_1$ の間に $\alpha^2 \sim R_1$ の関係が成立し、また、光増幅部5の信号光に対する単一パス利得 $G_s$ と第二の反射器2の反射率 $R_2$ の間に $G_s^2 \sim 1/R_2$ の関係が成立している。このとき、第一の反射器1の側から入射した光に対する反射利得 $G_s$ が抑圧されることを、図1の構成を単純化した図2(a)の場合について説明する。

【0025】図2(a)では、受光部4は屈折率 $n_1$ 、振幅に対する単一パス利得 $g_1$  ( $=\alpha^{1/2} < 1$ )の均一な材料からなり、光増幅部5は屈折率 $n_2$  ( $> n_1$ )、振幅に対する単一パス利得 $g_2$  ( $=G_s^{1/2} > 1$ )の均一な材料からなる。素子の外側は空気（屈折率=1）であるものと仮定する。屈折率が異なる二つの材料4、5が接しているため、その境界面が第三の反射器3として作用する。

$$g_r = \frac{-r_1 + g_1^2 g_{r3} e^{2i\phi_1}}{1 - g_1^2 r_1 g_{r3} e^{2i\phi_1}}$$

$$= \frac{-r_1 + g_1^2 r_1 r_2 r_3 e^{2i\phi_1} - g_1^2 r_3 e^{2i\phi_1} + g_1^2 g_2^2 r_2 e^{2i(\phi_1 + \phi_2)}}{1 - g_1^2 r_2 r_3 e^{2i\phi_2} + g_1^2 r_1 r_3 e^{2i\phi_1} - g_1^2 g_2^2 r_1 r_2 e^{2i(\phi_1 + \phi_2)}}$$

..... (4)

で与えられる。ここで、 $\phi_1$ は受光部4を透過する光の単一パスでの位相変化であり、共振周波数で $m'\pi$  ( $m$ は整数)となる。

【0029】共振周波数では $\exp(2i\phi_1) = \exp(2i\phi_2) = 1$ であるから、 $\alpha^2 = R_1$ 、かつ $G_s^2 = 1/R_2$ 、即ち $g_1^2 = r_1$ 、かつ $g_2^2 r_2 = 1$ ならば、上式の分子が

【0030】

【数3】

$$-r_1 + g_1^2 r_1 r_2 r_3 - g_1^2 r_3 + g_1^2 g_2^2 r_2$$

$$= -r_1 + r_1 r_3 - r_1 r_3 + r_1 = 0 \quad \dots (5)$$

となるので、 $r_3$ によらず（但し、分母も0となる $r_1 = 1$ 、 $r_3 = 1$ は除外する）、 $g_r = 0$ となる。従って、 $\alpha^2 = R_1$ （但し、 $0 < \alpha < 1$ ）、かつ $G_s^2 = 1/R_2$  ( $> 1$ )が成り立てば、( $r_3 < 1$ である限り) $R_3$ の値によらず共振波長で反射利得は抑圧されることになる。もっと複雑な構造においても同様に反射利得が

【0026】光増幅部5から見た第三の反射器3の振幅反射率は、 $r_3 = (n_2 - n_1) / (n_1 + n_2)$  ( $> 0$ )で与えられる。受光部4から見た第三の反射器3の振幅反射率は、 $-r_3$ で与えられる。第一の反射器1の側から平面波が垂直に入射するものとする。第一の反射器1に入射する光に対する振幅反射率は、 $-r_1 = (1 - n_1) / (1 + n_1)$  ( $< 0$ )、第二の反射器2から出射する光に対する振幅反射率は、 $r_2 = (n_2 - 1) / (n_2 + 1)$  ( $> 0$ )で与えられる。ここで、図2(b)のように、第三の反射器3から第二の反射器2までをエタロン9と考えると、その振幅反射率 $g_{r3}$ は、

【0027】

【数1】

$$g_{r3} = \frac{-r_3 + g_2^2 r_2 e^{2i\phi_2}}{1 - g_2^2 r_2 r_3 e^{2i\phi_1}} \quad \dots (3)$$

で与えられる。ここで、 $\phi_2$ は光増幅部5を透過する光の単一パスでの位相変化であり、共振周波数で $m\pi$  ( $m$ は整数)となる。次に、図2(c)のように、全体を一つの共振器8と見なせば、その全体の振幅反射率 $g_r$ は、

【0028】

【数2】

抑圧されることは、後述の実施形態の項で説明する。

【0031】もう少しわかりやすく説明すると、 $g_2^2 r_2 = 1$ ならば $g_{r3} = 1$ になるので、受光部4から第三の反射器3に入射する光電界と第三の反射器3から受光部4に戻る光電界は等しくなっている。このとき、第一の反射器1に入射する共振波長の光の振幅反射率は、

【0032】

【数4】

$$g_r = \frac{-r_1 + g_1^2}{1 - g_1^2 r_1} \quad \dots (6)$$

で表される。本発明では、 $g_1^2 = r_1$ なので、 $g_r = 0$ となるわけである。言い換えれば、 $g_{r3} = 1$  ( $g_2^2 r_2 = 1$ )、かつ $g_1^2 = r_1$ ならば、第一の反射器1(21)での反射光と、受光部4(18, 19, 20)を挟んで第一の反射器1(21)と第二の共振器9を多重反射する光との干渉により、全体の反射光が抑制されるわけである。

【0033】上記の二つの関係式、 $\alpha^2 = R_1$ 、及び $G$

径約7 $\mu\text{m}$ の部分のみに存在し、その周囲の部分はメサ外部からAlAsの選択酸化を行うことで形成されたAl<sub>x</sub>O<sub>y</sub>膜27、28になっている。このAl<sub>x</sub>O<sub>y</sub>膜27、28は、電流狭窄のための絶縁層として働くと同時に、共振器のアパーチャとしても働く。Al<sub>x</sub>O<sub>y</sub>膜27、28はポーラスなので、デバイス主要部へ深刻な歪や応力を生じる原因にはならない。

【0044】エピタキシャル成長層(下部DBR層11より上の部分)の合計膜厚は、縦型の集積構造であるにもかかわらず、約4 $\mu\text{m}$ と薄い。基板10の厚さは約100 $\mu\text{m}$ である。基板10下部の光路には誘電体反射防止膜29が形成されており、その周囲には電極30が形成されている。

【0045】電極24と電極30の間に電流を注入すると、MQW活性層14の二つのAlAsスペーサ層12、16で挟まれた光増幅部14aに高密度のキャリアが注入され、誘導放出利得が生じる。即ち、電極24、30、電極24、30から光増幅部14aに至るp型並びにn型の半導体領域17、16、15、13、12、11、10、電流狭窄のためのAl<sub>x</sub>O<sub>y</sub>膜27、28、及び外部に設けられた電流注入回路は、光増幅器5に電流を注入して所定の利得を得るための手段7を構成している。

【0046】電極24と電極26の間には、光吸収層10の信号光に対する吸収係数が所定の値になるように逆バイアスが印加されている。光吸収層19で受光により発生したキャリアは、この逆バイアス電圧により引き出され、電極24、26の間に発生する電流の形で取り出される。すなわち、これらの電極24、26とその間に形成されたpinフォトダイオード構造17~21は、吸収係数を電圧により制御すると共に受信信号を電気信号として取り出すための手段6として働く。

【0047】この基板10は、光透過穴を有するヒートシンクに実装されている。信号光は、外部に設けられたレンズ光学系により上部反射防止膜25を通して、アパーチャ付近で焦点を結ぶように入射される。結合効率、アパーチャが小さいため、約60%である。入射光の一部は受光部4で吸収され、電極24、26間に生じる電流として検出される。

【0048】受信に伴う損失や光学系の結合損失は、光増幅部5で補償され、下部反射防止膜29と外部に設けられた適切なレンズ系を介して次段へ中継される。出射光の光学系の結合損失は、レンズの方が大きいので無視できる。

【0049】なお、外部との光学的なアライメントの精度を出すためには、マイクロレンズ等をマスク合わせにより位置を精密に合わせて基板に張り付けておくことが好ましい。また、レンズ系にも反射を防ぐための手段(反射防止膜など)が設けられている。

【0050】第一の反射器1の反射率 $R_1$ は、波長 $\lambda_0$

$=0.98\mu\text{m}$ の信号光に対して約80.7%であり、第二の反射器2の信号光に対する反射率 $R_2$ は約82.8%である。ここで、受光部4の信号光に対する吸収係数が $18000\text{cm}^{-1}$ (単一パス透過率 $\alpha \sim 0.8976$ )となるように印加電圧が調整され、光増幅部5の信号光に対する利得係数が $26000\text{cm}^{-1}$ (単一パス利得 $G_s \sim 1.0981$ )となるように注入電流が調整されているものとする。このとき、 $\alpha^2 \sim R_1$ の関係が誤差4.2%で成立し、 $G_s^2 \sim 1/R_2$ の関係が誤差0.8%で成立しているもので、順方向伝搬光に対する反射利得が抑制される。

【0051】共振波長で $\alpha^2 \sim R_1$ と $G_s^2 \sim 1/R_2$ の関係が成立すると順方向反射利得 $G_s$ が抑圧されることは先にも述べたが、ここでは実施形態のような複雑な構造でも $G_s$ が抑圧されることを示す。

【0052】図4は、本実施形態の面型光多機能素子に第一の反射器1(21)の側から共振波長の光を入れた場合の、光路に沿った光電界強度 $F$ の分布を示す図である。図5は、本実施形態の面型光多機能素子に第一の反射器1(21)の側から共振波長の光を入れた場合の、素子内部の前進波のパワー分布( $P_f$ ;実線)と後退波のパワー分布( $P_b$ ;点線)を示す図である。どちらの図にも、層構造を示すために、屈折率分布を実線で記入してある。

【0053】図4に示したように、第一の反射器1(21)と第二の反射器2(12、11)の間には第一の共振器8が形成されているので、その間に光電界の定在波が立っている。第一の反射器1(21)と第二の反射器2(12、11)において、定在波の節は、共振器内部から外側に向かって屈折率が低下する境界面に位置している。

【0054】一方、第三の反射器3(16、17)は、第一の反射器1(21)と位相が同じなので、第二の反射器2(12、11)との間に第二の共振器9が形成されるが、第一の反射器1(21)との間には共振器が形成されない。即ち、第二の反射器2(12、11)においては、光増幅部5(13~15)から外側に向かって屈折率が低下する面に定在波の節ができていますが、受光部4から外側に向かって屈折率が低下する面には定在波の腹が位置している。従って、第一の反射器1(21)と第三の反射器3(16、17)を往復する信号光は、一周回する毎に位相が反転するので、干渉により相殺されてしまう。

【0055】従って、本実施形態の面型光多機能素子は、第二の反射器2を共通の反射器として第一の共振器8の中に第二の共振器9が含まれた、二重共振器構造を有しているものと考えることができる。第一の共振器8の内部には受光部4と光増幅部5が含まれるが、このうち受光部4は第二の共振器9の外側に、光増幅部5は第二の共振器9の内部に位置している。

【0068】なお、本発明の面型光多機能素子は、後方（入射側）に出射されるスポンチニース雑音が、吸収層の存在や反射器のバランス故にかなり低減される（例えば、二桁小さくできる）。この点は、従来技術の面型光多機能素子と比べて有利である。

【0069】図7は、本実施形態の面型光多機能素子の透過利得 $G$ と順方向反射利得 $G_R$ の波長依存性を示す図である。中心波長は978.14nmであり、透過利得20%低下点の利得帯域幅は1.37nmである。中心波長は、設計や温度制御によりずらすことが可能である。（001）基板を使用しており、上部から見た素子形状もほぼ円対称なので、利得の偏波依存性は無視できる程度である。

【0070】最後に、本実施形態の面型光多機能素子の構造において、p型GaAs/p型 $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$  DBR層17（第三の反射器3の一部）のペア数（ $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ 層の数で定義）を変えた時の第三の反射器3の反射率 $R_3$ 、素子の透過利得 $G$ 、順方向反射利得 $G_R$ 、逆方向反射利得 $G_B$ 、及び透過利得20%ダウンの帯域幅の変化を、下記の（表1）に示す。

【0071】

【表1】

ペア数	$R_3$	$G$	$G_R$	$G_B$	帯域(nm)
1	4.7%	1.254	$2.85 \times 10^{-4}$	0.077	2.03
2	6.8%	1.376	$2.99 \times 10^{-4}$	0.162	1.77
3	9.2%	1.510	$3.16 \times 10^{-4}$	0.292	1.55
4	12.0%	1.656	$3.37 \times 10^{-4}$	0.478	1.37
5	15.0%	1.816	$3.61 \times 10^{-4}$	0.733	1.21
6	18.2%	1.991	$3.90 \times 10^{-4}$	1.077	1.08
7	21.5%	2.183	$4.24 \times 10^{-4}$	1.529	0.96
8	25.0%	2.393	$4.63 \times 10^{-4}$	2.116	0.86
9	28.6%	2.623	$5.08 \times 10^{-4}$	2.868	0.77
10	32.2%	2.874	$5.61 \times 10^{-4}$	3.824	0.69
11	35.8%	3.149	$6.22 \times 10^{-4}$	5.029	0.62
12	39.4%	3.449	$6.93 \times 10^{-4}$	6.538	0.56
13	43.0%	3.776	$7.75 \times 10^{-4}$	8.416	0.50
14	46.4%	4.133	$8.72 \times 10^{-4}$	10.745	0.45
15	49.8%	4.522	$9.83 \times 10^{-4}$	13.619	0.41
16	53.1%	4.947	$1.11 \times 10^{-3}$	17.153	0.37
17	56.2%	5.408	$1.27 \times 10^{-3}$	21.483	0.34
18	59.3%	5.911	$1.44 \times 10^{-3}$	26.774	0.30
19	62.2%	6.456	$1.65 \times 10^{-3}$	33.219	0.28
20	64.9%	7.049	$1.90 \times 10^{-3}$	41.050	0.25

【0072】前述のように、 $R_3$ が大きくなるに従って、透過利得や逆方向反射利得が増大する。しかし、前記二つの条件式に対する誤差マージンが小さくなるので、順方向反射利得も少しづつ増大していく。それで

も、15ペア（ $R_3 \sim 50\%$ ）までの範囲では、順方向反射利得 $G_R$ は $10^{-3}$ 以下に抑圧されている。通常の光バスとしての使用条件では、本実施形態で説明したような低い透過利得で十分であり、十分なマージンを確保することができる。

【0073】本実施形態では、受光部と光増幅部と同一の信号光路に沿って一列に配置されているので、素子面積を小さくでき、受光部や無効領域でのけられによる信号光ビーム・プロファイルの変化がない。受光部は光増幅部と一体の共振器の中に形成されているので、増幅効果と共振器の効果とにより受光部における光パワーを高く取れ、比較的薄い吸収層にもかかわらず、高効率の受光が可能である。しかも、反射器は三つですむので、受光素子と光増幅器を別の共振器内に構成して直列接続する場合と比べ、素子全体の厚さを薄くできる。

【0074】反射利得抑圧のための条件は、 $\alpha^2 \sim R_1$ 、及び $G_2^2 \sim 1/R_2$ の二つに集約されている。この条件は、注入電流による利得制御とQCSEによる吸収制御により、個別に、かつ容易に実現することができる。このとき、第三の反射器の反射率 $R_3$ を適切に設定しておくことで、光学系の結合損失を補償して多段接続を行うのに十分な透過利得を得ることができる。また、光入射領域に段差や電極がなく、これらによる余分な反射や吸収が発生しない。

【0075】従って、本実施形態の面型光多機能素子によれば、反射利得を抑圧しつつ十分な透過利得が得られ、光アイソレータなしの多段接続時にも安定な動作を実現できる。また、多段中継時にもガウシアン・プロファイルを保つことができ、動作マージンも大きくとれる。さらに、薄い吸収層でも高効率の受光が可能であり、全体の層厚を薄くできる。その上、本実施形態の面型光多機能素子は、素子構造が単純で、作製が容易であり、素子サイズや無効領域も小さい。この結果、多数のボードを接続する安定で高性能な並列光インターコネクション装置の実現が可能となる。

【0076】（実施形態2）図8は、本発明の第2の実施形態に拘わる面型光多機能素子の断面構造を模式的に示す図である。

【0077】この面型光多機能素子は、（001）GaAs基板40上に形成されている。層構造は、下から順に、四分の一波長の $Al_2O_3$ 層41、二分の一波長のGaAsスペーサ層42、四分の一波長の $Al_2O_3$ 層43と四分の一波長のアンドープGaAs層が2.5ペアからなる多層反射膜43、p型 $AlGaAs$ クラッド層44、厚さ6nmのアンドープ $InGaAs$ 層の6層と厚さ6nmのアンドープGaAs層の5層を積層した至多重量子井戸（MQW）活性層45、厚さ30nmのn型 $AlAs$ スペーサ層46、n型 $AlGaAs$ クラッド層47、十分の一波長の $Al_2O_3$ 層からなる中央部反射層48（第三の反射器3）、p型GaAsクラッド層

防止できる。例えば、光増幅部5を流れる電流による電圧降下の変化で光吸収層50にかかる逆バイアスに変化したりすることがない。

【0089】本実施形態の面型光多機能素子の外部回路は、受光部4を順バイアスすることもできるように設定しておく。受光部4を順バイアスすると、受光部4は第二の光増幅部4'として機能するようになる。例えば、本来の光増幅部5の単一パス利得(1.12)は変化させずに、第二の光増幅部4'の単一パス利得を1.088(利得係数 $14000\text{ cm}^{-1}$ )まで上げると、本実施形態の面型光多機能素子はレーザ発振を開始する。本実施形態の面型光多機能素子をボード間光インターコネクションに応用すれば、同一の素子を、光源としても、受光・中継素子としても使用することができる。

【0090】(変形例、応用例)本発明は、上記の実施形態以外にも、様々な変形、応用が可能である。例えば、波長は $0.98\mu\text{m}$ 帯に限定されるものではなく、材料も様々なIII-V族半導体(例えば、InGaAsP系、InGaAlAs系、InGaAlP系、InGaAlN系、GaN系、GaInNAs系、InGaAlN系、InGaAlAsSb系など)、II-VI族半導体(例えば、ZnCdMgSSe系、HgCdTe系など)、カルコパイライト半導体、IV族半導体(Si、Ge、C、SiC系、SiGe系など)、磁性半導体、或いはこれらの半導体や他の材料(例えば、金属、誘電体膜、ガラス、アモルファス膜、サファイヤ、セラミックス、液晶、プラスチック、ポリイミド、樹脂等の有機材料等)をハイブリッドに組み合わせた構造などに応用してもよい。

【0091】基板張り合わせ技術やエピタキシャル・リフトオフ法などを用いれば、異なる成長工程で作製した材料系を一体化することもできる。例えば、Si基板上に作製したCMOS回路と集積化したり、液晶を利用したホログラムと集積化してビームステアリング機能を持たせたりすることも可能である。

【0092】デバイス構造も上述の実施形態に限定されるものでなく、材料に適した様々な形態に適用できる。例えば、受光部の構造はpinフォトダイオード構造に限定されるのではなく、単一パス透過率が所定の値に制御できれば、サブバンド間吸収受光素子、光双安定素子(例えばSEEDなど)のような、他の構造であっても構わない。受光素子の構造によっては、リニアな受信の代わりに非線形動作(スイッチ動作等)を行わせることも可能である。その他、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々変形して実施することができる。

【0093】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、第一の反射器と第二の反射器の間に第三の反射器を設け、第一及び第三の反射器の間に受光部を、第二及び第三の反射器の間に光増幅部を設け、第一及び第二の反射器で

信号光に対する第一の光共振器を、第二及び第三の反射器で信号光に対する第二の光共振器を形成する構成としているので、十分な透過利得を有し、反射利得が抑圧され多段接続時にも安定に動作し、光ビーム・プロファイルの変化が少なく、動作マージンが大きく、構造が簡単で、層厚が薄く、素子面積が小さな面型光多機能素子を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の面型光多機能素子の基本構成を模式的に説明する図。

【図2】本発明の面型光多機能素子の動作原理を説明するための図。

【図3】第1の実施形態の面型光多機能素子の断面構造を模式的に説明する図。

【図4】第1の実施形態の面型光多機能素子内部における電界分布を示す図。

【図5】第1の実施形態の面型光多機能素子内部における前進波と後退波の光パワー分布を示す図。

【図6】第1の実施形態の面型光多機能素子において、光増幅部の材料利得を変化させたときの透過利得と反射利得の変化を示す図。

【図7】第1の実施形態の面型光多機能素子の透過利得スペクトルと反射利得スペクトルを示す図。

【図8】第2の実施形態の面型光多機能素子の断面構造を模式的に説明する図。

【図9】第2の実施形態の面型光多機能素子内部における前進波と後退波の光パワー分布を示す図。

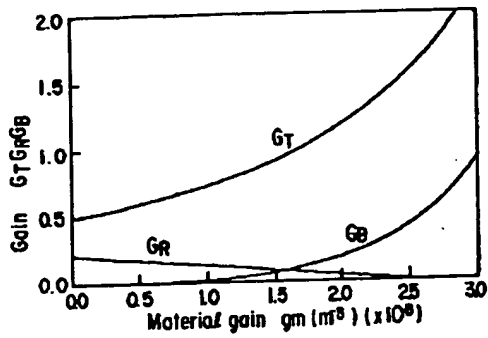
【図10】第2の実施形態の面型光多機能素子の透過利得スペクトルと反射利得スペクトルを示す図。

【図11】従来の面型光多機能素子の断面構造を模式的に説明する図。

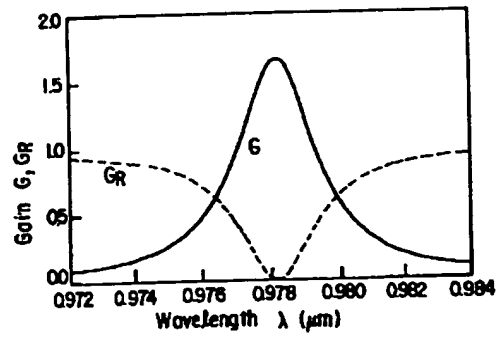
【符号の説明】

- 1…第一の反射器
- 2…第二の反射器
- 3…第三の反射器
- 4…受光部
- 5…光増幅部
- 6…受光部の単一パス透過率を制御すると共に受信信号を取り出すための手段
- 7…増幅部の利得を制御するための手段
- 8…第一の共振器
- 9…第二の共振器
- 10, 40…半導体基板
- 11, 17…GaAs/AlGaAs DBR層
- 12, 16, 46…AlAs層
- 13, 15, 18, 20, 44, 47, 49, 51…クラッド層
- 14, 45…活性層
- 19, 50…光吸収層
- 21, 43, 52…GaAs/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>多層膜

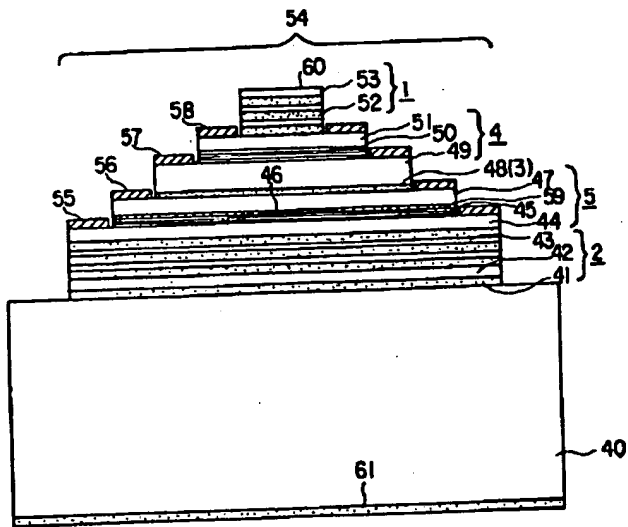
【図6】



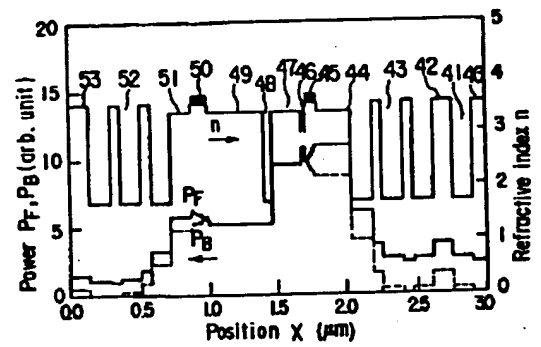
【図7】



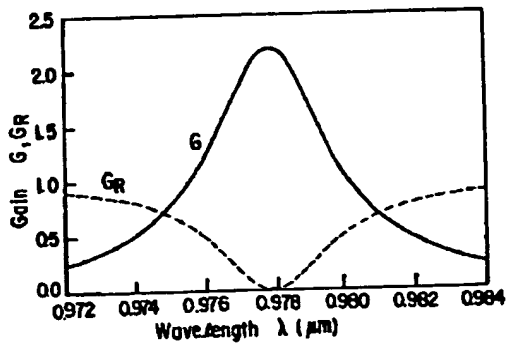
【図8】



【図9】



【図10】



【図11】

